



Роман Кондратюк
materials@ostec-group.ru

Отмывка в производстве силовых модулей

Отмывка является обязательной частью технологического процесса при сборке силовых модулей с использованием паяльной пасты. В условиях миниатюризации даже незначительные загрязнения приводят к существенному снижению надёжности мощных устройств, поэтому к качеству отмывки предъявляются всё более жёсткие требования. В статье мы рассмотрим особенности отмывки силовых модулей и её влияние на надёжность конечного изделия.

Как известно, в процессе изготовления силовых электронных модулей загрязнения, остающиеся на подложке и на поверхности кристалла, при последующей эксплуатации могут приводить к возникновению паразитных эффектов, таких как токи утечки и коррозия отдельных элементов. Следствием этого может стать преждевременный выход из строя силового прибора. Для обеспечения максимальной эксплуатационной надёжности загрязнения необходимо удалять. Ранее, из-за отсутствия альтернативы для отмывки, использовались горючие растворители. В настоящее время стандартом является отмывка с использованием средств на водной основе¹.

Основные загрязнения, которые возникают при сборке силовых модулей, вносятся в процессе пайки (кристалла к подложке, подложки к радиатору). Остатки флюса и оксиды на поверхности металлизации (рис. 1) оказывают негативное влияние на качество последующих технологических операций, таких как монтаж проволочных соединений и заливка компаундом. С функциональной точки зрения, остатки флюса, допустимые на печатных платах, в си-

ловых приборах обязательно должны удаляться, поскольку могут приводить к возникновению паразитных токов утечки и коррозионных процессов, ускоренных большими токами.

Наиболее действенным способом ухода от загрязнений во время пайки является использование бесфлюсовой пайки², но производительность данного метода ограничена, и в условиях массового производства использование паяльных паст является наиболее оптимальным вариантом. В связи с этим разработка и внедрение специализированных процессов отмывки является важнейшей задачей.

Отмывка силовых модулей во многом схожа со стандартными процессами отмывки печатных узлов. Отличия заключаются лишь в специализированных отмывочных жидкостях, которые должны удовлетворять ряду требований, среди которых, прежде всего, необходимо отметить следующие:

- **Высокая способность к удалению остатков флюсов и оксидов.** Наибольшую способность к удалению загрязнений показывают жидкости на водной основе с технологией MPC (Micro Phase Cleaning®) не содержащие ПАВ, такие как Vigon PM105 или Vigon N600^{3 4}. По-

¹ Thermal Phase: A New Technique for Stencil/PCB Cleaning, SMT Magazine, February 1998. Koschmieder, S

² Indium Corp., "Fluxless soldering. Application notes"

мимо прочего, данные жидкости содержат специализированные ингибиторы, которые пассивируют поверхность меди после удаления оксидов, предотвращая её повторное окисление.

• **Совместимость с чувствительными материалами подложек и кристаллов.** Неправильный выбор отмывочной жидкости может привести к разрушению защитного покрытия кристаллов и вызывать нарушение функциональных характеристик прибора (рис. 2). Поверхность подложки также может быть подвержена негативному влиянию отмывочной жидкости. Щелочные растворы, хорошо удаляющие остатки флюса и другие загрязнения, оказываются несовместимы с медными проводниками в силовых модулях, поскольку легко их растворяют. Растворённые ионы меди могут попадать на кристалл, вызывая проблемы с электроизоляцией. Нейтральный pH жидкости является необходимым условием для отмывки силовых модулей.

• **Способность очищать загрязнения в зазорах менее 100-500 мкм.** В условиях миниатюризации данное требование выходит на первый план при использовании и отмывке водосмываемых флюсов. Большое поверхностное натяжение воды препятствует её проникновению в узкие зазоры. Поэтому даже при отмывке водосмываемых паст в воду добавляют специализированные промывочные жидкости для увеличения её проникающей способности³.

Основная цель отмывки – обеспечение длительного срока эксплуатации модуля. В качестве метода оценки долговременной надёжности или срока службы широко применяются циклические испытания под нагрузкой. Условия тестирования, как правило, подбираются исходя из области применения прибора и требуемой надёжности.

Загрязнения на поверхности кристалла и подложки являются важнейшей причиной отказов силовых электронных модулей в процессе испытаний и эксплуатации. Наиболее часто встречающимися дефектами являются отрыв про-

волочного соединения и возникновение паразитных токов утечки, вызванных проводимостью остатков флюса и низким качеством поверхности подложки в области контакта с заливочным компаундом. Многолетняя производственная практика компании Zestron (Германия) подтвердила необходимость и преимущества оптимизированных процессов отмывки для обеспечения максимальной прочности микросварных соединений и надёжности заливки силовых модулей компаундами и гелями⁶.

ОТМЫВКА И ПРОЧНОСТЬ МИКРОСВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

На прочность проволочных соединений оказывают влияние два основных фактора. Во-первых, наличие остатков флюса после пайки на подложке и, особенно, на поверхности кристалла снижает прочность микросварного соединения. Приварка проволочных выводов на неочищенный кристалл требует чрезмерного увеличения мощности микросварки, что приводит к образованию трещин, разрушению кристалла или отрыву соединений из-за недостаточного сцепления. Во-вторых, в процессе пайки на воздухе происходит окисление открытых металлических поверхностей, что также негативно сказывается на качестве микросварного соединения и может снижать выход годных (рис. 3).

Соответствующий процесс очистки должен обеспечивать полное удаление остатков флюса после пайки и активацию окисленных поверхностей (удаление окислов). В дополнение к этому современные промывочные жидкости после отмывки создают на поверхности тонкий защитный слой, который препятствует повторному окислению металлизации, но легко удаляется в процессе ультразвуковой микросварки. Процессы отмывки, разработанные специально для силовых модулей, позволяют создавать оптимальную поверхность для проволочной микросварки без загрязнений и окислов. Производственная практика компании Zestron подтвердила, что водораствори-

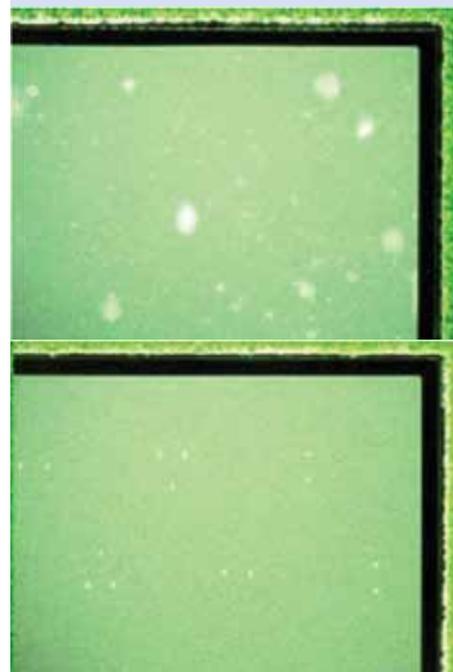


Рис. 1 Поверхность силового диода до (сверху) и после (снизу) отмывки

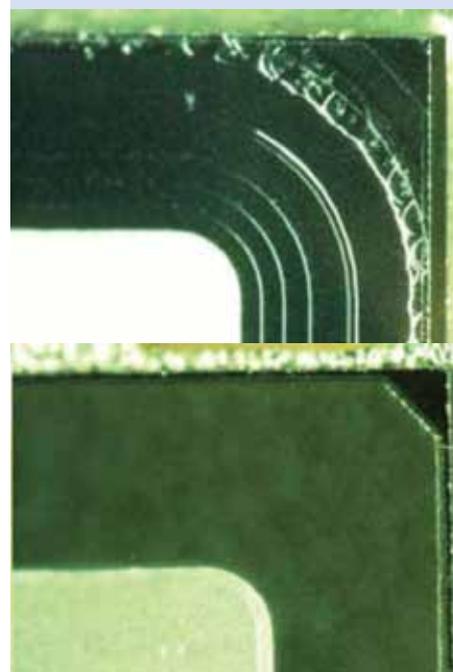


Рис. 2 Стеклоанное защитное покрытие тиристора: воздействие несовместимой отмывочной жидкости (сверху); оптимальная отмывка (снизу)

³ Vigon N600, Technical Data Sheet, ZESTRON®

⁴ Vigon PM105, Technical Data Sheet, ZESTRON®

⁵ Dr. Helmut Schweigart, Mr. Stefan Strixner, "Can one effectively clean under low stand off components (<100 µm)?", 2005 ZESTRON®

⁶ Thomas Hucharek, "Cleaning of Power Module Substrates Contaminants must be removed from the surfaces", Bodo's Power Systems, 2012

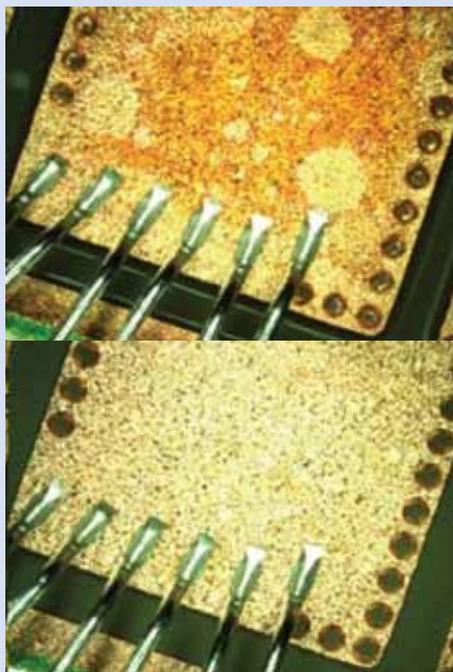


Рис. 3 Проволочные соединения на окисленной медной подложке (сверху) и на медной подложке, активированной путем отмычки жидкостью Vigon PM105 (снизу)

мые pH-нейтральные чистящие средства с технологией MPC, не содержащие ПАВ, такие как Vigon PM105 или Vigon N600, удовлетворяют указанным требованиям в отличие от многих используемых растворителей.

В ходе внутреннего исследования в компании Zestron был проведен анализ влияния процесса отмычки силовых модулей на прочность микросварного соединения на сдвиг. Результаты первой части исследования показали, что оптимизированный процесс отмычки ведет к значительному увеличению прочности на сдвиг по сравнению с неочищенными подложками (рис. 4). Во второй части исследования было проведено сравнение качества подготовки поверхностей к разварке проволочных соединений в зависимости от технологии очистки (MPC и ПАВ). Результаты показали, что отмывочные жидкости на водной основе класса MPC обеспечивают большую прочность на сдвиг по сравнению с обычными ПАВ, поскольку они не оставляют осадка на поверхности после ополаскивания.

В зависимости от конфигурации технологического процесса использование соответствующих чистящих средств на водной основе позволяет в ряде случаев отказаться от плазменной обработки, которая обычно является обязательной. Таким образом, отмывка с помощью специализированных жидкостей на водной основе имеет значительный потенциал к снижению производственных расходов.

ОТМЫВКА И ЗАЩИТА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Процесс отмычки также оказывает влияние на качество защиты прибора

от воздействия окружающей среды. При плохой адгезии силиконового компаунда или геля к подложке влага при эксплуатации изделия может проникать по границе раздела подложка-компаунд. Наличие остатков флюса на поверхности подложки после пайки уменьшает усилие сцепления заливки и может привести к расслоению. Загрязнения на поверхности модуля также могут вызывать электрохимическую миграцию под материалом заливки и последующий отказ изделия во время эксплуатации. В ходе выполнения нескольких проектов по отмывке силовых модулей было выявлено, что отмывка увеличивает усилие сцепления заливки с подложкой и снижает вероятность расслоения, что благотворно сказывается на общей надежности заливки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, отмывка силовых модулей после процесса пайки является обязательным требованием для обеспечения длительного срока службы изделия. Использование специализированных отмывочных жидкостей, с одной стороны, позволяет достичь максимально возможной чистоты поверхности, с другой, получить пассивированную металлизацию для предотвращения повторного окисления. Эти два фактора в сильной степени определяют прочность микросварных соединений и качество заливки и способствуют повышению надежности продукции.

Группа компаний Остек совместно со специалистами компании Zestron готова оказать полную технологическую поддержку в выборе и оптимизации процессов отмычки изделий силовой электроники.



Рис. 4 Прочность микросварного соединения на сдвиг: без отмычки (сверху); с отмывочной жидкостью Vigon PM105 перед микросваркой (снизу)