



ОТМЫВКА В ПРОИЗВОДСТВЕ СИЛОВЫХ МОДУЛЕЙ

Р.Кондратюк / materials@ostec-group.ru

Отмывка силовых модулей – обязательный элемент процесса сборки с использованием паяльной пасты. Даже незначительные загрязнения приводят к существенному снижению надежности мощных устройств, поэтому к качеству отмывки предъявляются жесткие требования. В статье рассматриваются особенности отмывки силовых модулей и ее влияние на надежность изделий.

Загрязнения, остающиеся на подложке и поверхности кристалла при изготовлении силовых электронных модулей, при эксплуатации изделий могут приводить к появлению паразитных эффектов (токи утечки, коррозия отдельных элементов). В результате этого может произойти преждевременный выход из строя силового прибора. Для обеспечения эксплуатационной надежности такие загрязнения необходимо удалять. Ранее для отмывки использовались горючие растворители; в настоящее время стандартно применение средств на водной основе [1].

Основные загрязнения при сборке силовых модулей вносятся на стадии пайки кристалла к подложке и подложки к радиатору. Остатки флюса и оксиды на поверхности металлизации (рис.1) негативно влияют на качество последующих технологических операций (монтаж проволочных соединений, заливка компаундом). Важно, что остаток флюса, допустимый при изготовлении печатных плат, в силовых приборах обязательно должен удаляться, поскольку он может приводить к паразитным токам утечки и коррозионным процессам, ускоряемым большими токами.

Наиболее действенный способ ухода от загрязнений во время пайки – использование бесфлюсовой пайки [2], однако производительность данного метода ограничена, и в условиях массового производства использование паяльных паст оптимально. По этой причине одна из важнейших задач технологов – разработка специализированных процессов отмывки.

Отмывка силовых модулей во многом схожа со стандартными процессами для печатных узлов. Отличия заключаются в специализированных отмывочных жидкостях, которые должны удовлетворять ряду

требований. Среди них, прежде всего, необходимо отметить:

- высокую способность к удалению остатков флюсов и оксидов. Наибольшую способность к удалению загрязнений демонстрируют жидкости на водной основе, используемые по технологии MicroPhase Cleaning (MPC) и не содержащие ПАВ, такие как Vigon PM105 или Vigon N600 [3, 4]. Эти жидкости включают в состав специальные ингибиторы, пассивирующие поверхность меди после удаления оксида, предотвращая ее повторное окисление;
- совместимость с чувствительными материалами подложек и кристаллов. Некорректный выбор отмывочной жидкости может привести к разрушению защитного покрытия кристаллов и вызвать 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, легко их растворяя. Растворенные ионы меди могут попадать на кристалл, вызывая проблемы с электроизоляцией. Таким образом, использование нейтральной pH-жидкости – необходимое условие отмывки силовых модулей;
- способность очищать загрязнения в зазорах менее 100–500 мкм. Данное требование выходит на первый план в условиях миниатюризации при использовании водосмываемых флюсов. Значительное поверхностное натяжение воды препятствует ее проникновению в малые зазоры, поэтому даже при отмывке водосмываемых паст в воду для



увеличения ее проникающей способности добавляются специализированные промывочные жидкости [5].

Основная цель отмывки – обеспечение длительного срока эксплуатации модуля. Для оценки его долговременной надежности или срока службы широко применяются циклические испытания под нагрузкой. Тестирование, как правило, проводится, исходя из области применения прибора и его требуемой надежности.

Загрязнения на поверхности кристалла и подложки – важнейшая причина отказов силовых электронных модулей. Наиболее часто встречающиеся дефекты – отрыв проволочного соединения и паразитные токи утечки, вызванные проводимостью остатков флюса и низким качеством поверхности подложки в области контакта с заливочным компаундом. Многолетняя практика компании Zestron (Германия) подтвердила необходимость и преимущества оптимизации отмывки для обеспечения максимальной прочности микросварных соединений и надежности заливки силовых модулей компаундами и гелями [6].

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. Приварка проволочных соединений на неочищенный кристалл требует чрезмерного увеличения мощности микросварки, что приводит к образованию трещин, разрушению кристалла или отрыву соединений из-за недостаточного сцепления. Во-вторых, при пайке на воздухе окисляются открытые металлические поверхности, что также негативно сказывается на качестве микросварного соединения и снижает выход годных (рис.3).

Очистка должна обеспечивать полное удаление остатков флюса после пайки и активацию окисленных поверхностей (удаление оксидов). Кроме того, современные промывочные жидкости создают на обрабатываемой поверхности тонкий защитный слой, препятствующий повторному окислению металлизации, но легко удаляемый при ультразвуковой проволочной микросварке. Процессы отмывки, разработанные специально для силовых модулей, позволяют создавать оптимальную поверхность без загрязнений и оксидов.

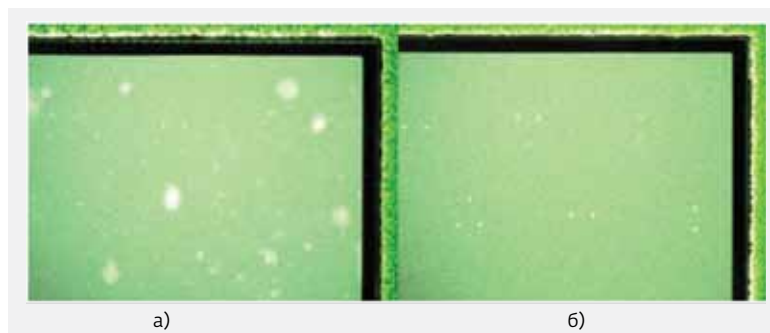


Рис.1. Поверхность силового диода: (а) до и (б) после отмывки

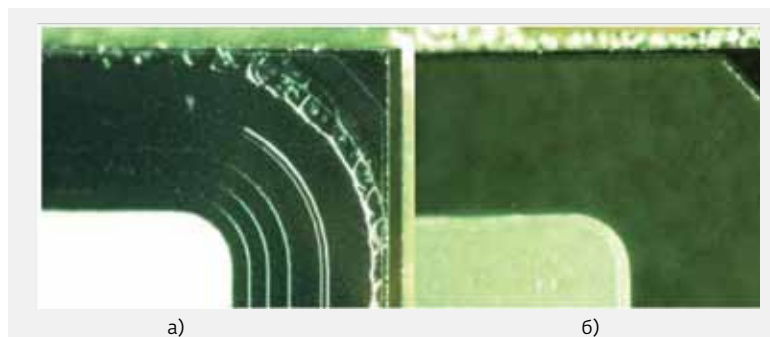


Рис.2. Стеклозащитное покрытие тиристора: воздействие несовместимой отмывочной жидкости (а); оптимальная отмывка (б)

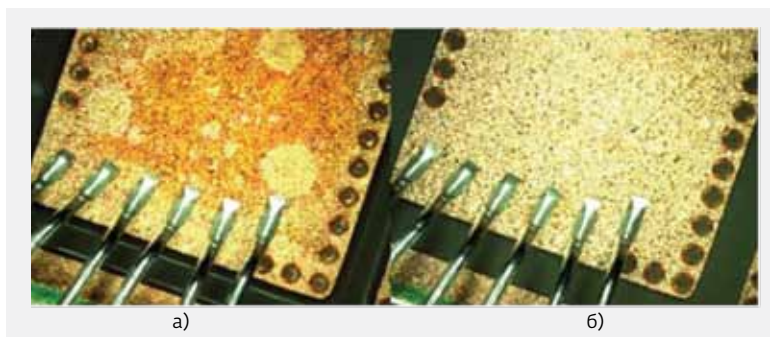


Рис.3. Проволочные соединения на окисленной медной подложке (а) и активированной отмывочной жидкостью Vigon PM105 (б)

Практика компании Zestron подтвердила, что водорастворимые нейтральные чистящие средства Vigon PM105 или Vigon N600, в отличие от многих используемых растворителей, удовлетворяют указанным требованиям.

В ходе исследования в компании Zestron проанализировано влияние отмывки силовых модулей на прочность микросварного соединения на сдвиг. Показано, что оптимизированный процесс обеспечивает значительное увеличение прочности на сдвиг по сравнению с неочищенными подложками (рис.4). Проведено также сравнение качества подготовки поверхностей к разварке проволочных соединений в зависимости от технологии очистки (МРС и ПАВ).

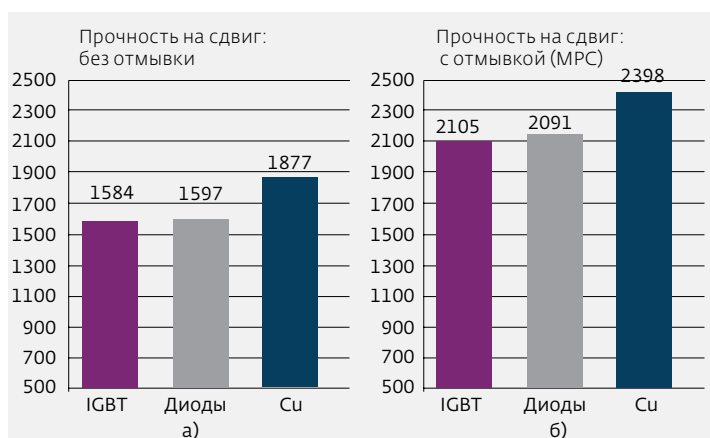


Рис.4. Прочность микросварки на сдвиг: без отмытки (а); с отмыткой жидкостью Vigon PM105 перед микросваркой (б)

Показано, что отмывочные жидкости на водной основе класса МРС обеспечивают большую прочность на сдвиг по сравнению с обычными ПАВ, поскольку после ополаскивания они не оставляют осадка на поверхности.

Выяснено также, что использование чистящих средств на водной основе позволяет в ряде случаев отказаться от плазменной обработки. Таким образом, отмывка с их помощью имеет значительный потенциал к снижению производственных расходов.

ОТМЫВКА И ЗАЩИТА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Процесс отмывки также влияет на качество защиты прибора от воздействия окружающей среды. При плохой адгезии силиконового компаунда или геля к подложке при эксплуатации изделия влага может проникать по границе раздела подложка-компаунд. Наличие остатков флюса на поверхности подложки после пайки уменьшает сцепление заливки и может привести к расслоению. Загрязнения на поверхности модуля также вызывают электрохимическую миграцию под

материалом заливки и последующий отказ изделия. В ходе нескольких проектов по отмывке силовых модулей было выявлено, что она увеличивает усилие сцепления заливки с подложкой и снижает вероятность расслоения, что благотворно сказывается на общей надежности заливки.

Таким образом, отмывка силовых модулей после пайки обязательна для обеспечения длительного срока службы изделия. Использование специализированных отмывочных жидкостей позволяет достичь максимально возможной чистоты поверхности и получить пассивированную металлизацию для предотвращения повторного окисления. Эти факторы в значительной степени определяют прочность микросварных соединений и надежности заливки, способствуя повышению качества продукции.

Группа компаний Остек совместно со специалистами компании Zestron готова оказать полную технологическую поддержку по выбору и оптимизации процесса отмывки изделий силовой электроники.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Koschmieder S.** Thermal Phase: A New Technique for Stencil/PCB Cleaning. – SMT Magazine, February 1998.
2. Indium Corporation, "Fluxless soldering. Application notes", www.indium.com
3. Vigon N600, Technical Data Sheet, ZESTRON, 2012.
4. Vigon PM105, Technical Data Sheet, ZESTRON, 2011.
5. **Dr. H.Schweigart, S.Strixner.** Can one effectively clean under low stand off components (<100 μm)?, ZESTRON, 2005.
6. **T.Kucharek.** Cleaning of Power Module Substrates Contaminants must be removed from the surfaces. Bodo's Power Systems, Technical Data Sheet, ZESTRON, 2012.

CLEANING IN MANUFACTURE OF POWER MODULES

R.Kondratyuk / materials@ostec-group.ru

Cleaning of power modules is an indispensable element of an assemblage process with the use of a soldering paste. Even an insignificant amount of dirt results in an essential decrease in reliability of powerful devices. Therefore rigid standards are applied to the quality of cleaning. The article is devoted to specific features of cleaning of the power modules and its influence on the products' reliability.

The dirt appearing on the substrate and surface of a crystal in the process of manufacture of power electronic modules can result in parasitic effects (leak currents, corrosion of separate elements) during operation of the products. And this can cause a premature failure of a power device. In order to ensure products' operational reliability such dirt should be removed.

Previously combustible solvents were used for this purpose; and the present standards provide for application of the detergents based on water [1].

During assemblage of the power modules most of the dirt is introduced at the stage of soldering of a crystal to a substrate and of substrates to a radiator. Residues of a flux and oxides on



metallization surfaces (Fig.1) influence negatively the quality of the subsequent technological operations (installation of wire connections, compound-filling). It is important to have in mind that the residual flux, admissible in manufacture of the printed-circuit boards, should by all means be removed from the power devices, because it can provoke parasitic leakage currents and corrosion processes, accelerated by high currents.

The most effective way to avoid dirtying during soldering is to apply flux-free soldering [2], however the given method has a limited productivity, and in the conditions of mass production the use of soldering pastes is optimal. For this reason, one of the major tasks for technologists is development of special cleaning processes.

Cleaning of the power modules is in many respects similar to the standard processes applied for the printed board assemblies. The difference is in special cleaning liquids which should meet a number of requirements. Among them, first of all, are the following:

- High ability to remove the residues of fluxes and oxides. The greatest ability to remove the dirt is demonstrated by water based liquids, applied by MicroPhase Cleaning (MPC) technology and not containing surface-active substances (SAS), such as Vigon PM105 or Vigon N600 [3, 4]. These liquids include in their composition special inhibitors, passivating the surface of copper after an oxide is removed, preventing its repeated oxidation.
- Compatibility with the sensitive materials of substrates and crystals. An incorrect choice of a cleaning liquid can lead to destruction of a protective coating of crystals and damage the functional characteristics of a device (Fig.2). The substrate surface can also be subjected to a negative influence of a cleaning liquid. The alkaline solutions, removing well the residuals of a flux and other dirt, appear to be incompatible with the copper conductors in power modules, because dissolve them easy. The dissolved ions of copper can get on a crystal, causing problems with electrical insulation. Thus, application of neutral pH liquids is an indispensable condition for cleaning of power modules.
- Ability to remove dirt from the gaps, smaller than 100-500 microns. The given requirement becomes the most important one in the conditions of miniaturization and use of water-soluble fluxes. A considerable surface tension of water prevents its penetration into small gaps, therefore, even when water-soluble pastes are used, special cleaning liquids are added to the water in order to increase its penetrating ability [5].

The main aim of cleaning is to ensure a long service life of a module. Cyclic tests under loading are widely applied to estimate its long-term reliability or service life. As a rule, the testing is done in accordance with the sphere of application of a device and its required reliability.

Dirt on a crystal and substrate surfaces is the major cause of failures of the power electronic modules. The most frequently occurring faults are a breakage of the wire connection and parasitic leakage currents caused by conductivity of the flux residuals and poor quality of a substrate surface in the area of contact with a caulking compound. Long-term experience of Zestron Company (Germany) confirms the necessity and advantages of optimization of cleaning in order to ensure the maximum durability of the microwelded connections and reliability of the filling of the power modules with compounds and gels [6].

CLEANING AND DURABILITY OF THE MICROWELDED CONNECTIONS

Durability of the wire connections is determined by two major factors: first, by the presence of the flux residuals after soldering on a substrate, and, especially, on a crystal surface. Welding of wire connections to an uncleaned crystal demands an excessive increase in the power of microwelding which results in formation

of cracks, destruction of a crystal or a breakage of connections due to an insufficient adhesion. Secondly, in case of soldering in the air the metal surfaces get oxidized, which also affects negatively the quality of microwelded connections and reduces the output of good products (Fig.3).

Cleaning should ensure a complete removal of the flux residuals after soldering and activation of the oxidized surfaces (removal of oxides). Besides, modern cleaning liquids form a thin protective layer on a processed surface, which prevents a repeated oxidation of metallization, but can be deleted easily during an ultrasonic wire microwelding. The cleaning processes, developed specially for the power modules, allow us to create an optimum surface without any dirt and oxides. Experience of Zestron Company proves that Vigon PM105 or Vigon N600 water-soluble neutral cleaners, unlike many other solvents, meet the above requirements.

During its research Zestron Company analyzed the influence of cleaning of the power modules on the shear strength of a microwelded connection. It was demonstrated that an optimized process ensures a substantial growth of the shear strength in comparison with the uncleaned substrates (Fig.4). Comparison was done of the quality of preparation of surfaces to unwelding of the wire connections depending on a cleaning technology (MPC and SAS). It was shown, that the water-based cleaning liquids of MPC class ensure better shear strength in comparison with regular SAS, since after rinsing they do not leave any trace on a surface.

It was also found out, that in a number of cases application of the water-based cleaners allows to do without plasma processing. Thus, cleaning with their help has considerable potential for reduction of the production costs.

CLEANING AND PROTECTION AGAINST THE INFLUENCE OF THE ENVIRONMENT

The cleaning process also affects the quality of protection of a device from the influence of the environment. If adhesion of a silicon compound or gel to a substrate is not good, moisture can penetrate along the border of the substrate-compound during operation of a product. Presence of the flux residues left on the surface of a substrate after soldering reduces adhesion of filling and can result in stratification. Dirt on a module's surface also causes an electrochemical migration under a filling material and subsequent failure of a product. During implementation of several projects of power modules' cleaning it was discovered, that it increases adhesion of filling with a substrate and reduces chances for stratification, which is good for reliability of filling in general.

Thus, cleaning of the power modules after soldering is indispensable in order to ensure a long service life of a product. Application of special cleaning liquids, allows us to reach the greatest possible cleanliness of a surface and obtain a passivated metallization for prevention of a repeated oxidation. These factors substantially determine durability of the microwelded connections and reliability of filling, and contribute to improvement of the products' quality.

The Ostek Group jointly with specialists from Zestron Co. are ready to provide full technological support for selection and optimization of the process of cleaning of the products of power electronics.

Fig.1 Surface of a power diode: a) before, and b) after cleaning

Fig.2. Glass protective coating of a tiristor: a) influence of an incompatible cleaning liquid; b) optimal cleaning

Fig.3. Wire connections on an oxidized copper substrate - a) and activated cleaning liquid Vigon PM105 - b)

Fig.4. Shear strength of microwelding: a) without cleaning; b) with cleaning by Vigon PM105 liquid before microwelding

Literature