

Некоторые методы

повышения качества и надежности ультразвуковой сварки

В последние годы достигнуты большие успехи в области производства и применения полупроводниковых приборов, интегральных и гибридных схем. Их характеристики зависят не только от используемых исходных материалов, но и от совершенства технологий, применяемых на различных этапах их изготовления. Надежность выпускаемых устройств напрямую зависит от качества электрических соединений между различными элементами.

Ультразвуковая сварка (УЗС) проволочных выводов является одним из наиболее широко применяемых способов создания неразъемных соединений между различными элементами, в частности, присоединения полупроводникового кристалла с функциональными элементами к корпусу прибора, а также металлических выводов к тонкопленочным контактным площадкам планарной стороны кристалла и внешним выводам корпуса.

Иван Погорельцев

micro@ostec-group.ru

УЗС — способ получения электрического контакта с использованием энергии УЗ-колебаний для соединения проволоки, обычно алюминиевой или золотой, с кристаллом интегральной схемы, толстой пленкой, печатной платой или выводными контактами.

Когда проволока прижата к месту сварки под действием механического усилия и ультразвуковой энергии, передаваемой сварочным инструментом, она размягчается и деформируется. Это происходит из-за того, что ультразвуковая энергия разрушает кристаллическую структуру проволоки. Кроме того, УЗ-колебания передаются через проволоку на поверхность места сварки, которая также начинает размягчаться. В ходе этого процесса удаляются загрязнения и оксиды, присутствовавшие в месте сварки, и контактные поверхности становятся незащищенными. Свободные атомы материала проволоки образуют связи с атомами материала поверхности места сварки, создавая твердую кристаллическую структуру. В результате получается однородное соединение.

Основными преимуществами применения алюминиевой проволоки являются отсутствие нагрева соединяемых элементов и малое время сварки, что позволяет получать соединения без плавления свариваемых деталей.

При использовании золотой проволоки рекомендуется подогрев проволоки/подложки в пределах +150...250 °С. Нагрев до 300 °С и выше приводит к снижению прочности соединений, поскольку из-за значительного увеличения текучести проволоки уменьшается эффективность передачи УЗ в зону сварки. При этом разрушение соединения происходит, как правило, по контакту, даже при незначительной деформации проводника.

Рассмотрим процесс ультразвуковой сварки более подробно (рис. 1):

- Проволока вдавливается в тонкую металлическую пленку на контактной площадке полупроводниковой поверхности.
- Сварочный инструмент прижимает проволоку к поверхности, ультразвуковые вибрации передаются проволоке через инструмент.
- Вибрация смягчает проволоку и под непосредственным давлением инструмента прижимает ее к контактной площадке.
- Во время вибрации с поверхности проволоки и контактной площадки удаляются загрязняющие вещества, образуется чистая поверхность.
- Во время контакта проволоки и поверхности происходит диффузия атомов, в результате которой образуется сварочное соединение.

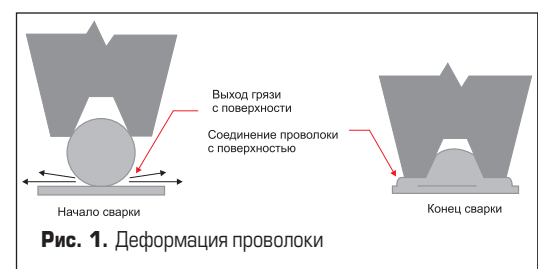


Рис. 1. Деформация проволоки

Для достижения качественного сварного соединения, кроме хорошей контактной поверхности и проволоки, требуется правильно подобрать основные параметры сварки, а именно:

- мощность УЗС;
- силу, с которой инструмент прижимает проволоку;

- время воздействия УЗ на проволоку.

Но даже при всем этом без хорошего зажима подложки качественное сварное соединение не получится.

Зажим

При плохом закреплении подложки на століке установки есть вероятность различных смещений (по осям X, Y, Z). Поэтому к мощности, силе и времени необходимо добавить четвертую составляющую успешной сварки — зажим (рис. 2). Чем ближе зажим к месту сварки, тем выше шансы получить качественное соединение.

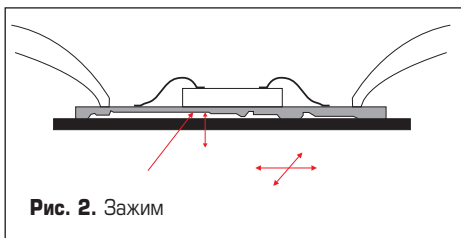


Рис. 2. Зажим

Рассмотрим различные варианты мощности УЗС, силы прижима и времени воздействия и их влияние на результат сварки.

Мощность сварки

Мощность УЗ-вибрации во время сварки делает проволоку «пластичной». Этот параметр наиболее существенно влияет на качество сварного соединения.

Вариант «хорошей» сварки сварочным инструментом с V-образным пазом показан на рис. 3.



Рис. 3. Пример «хорошей» сварки

Избыточная мощность сварки

На рис. 4 показана сварка с превышением мощности. Это приводит к разрушению области вокруг «пятки», сильной деформации проволоки и выдавливанию алюминия из зоны сварки. В связи с этим появляются большие «уши», и происходит наращивание



Рис. 4. Пример сварки с применением высокой мощности

ние алюминия на сварочном инструменте, что становится причиной образования ямок на «пятке» сварочного соединения. Эти ямки могут привести к разрушению проволоки во время термоцикла (нагрева/охлаждения). Сколы на кристалле и низкие значения усилия отрыва при тесте на растяжение могут также являться результатом высокой мощности сварки.

Недостаточная мощность сварки

Проведенная со слишком маленькой мощностью сварка также будет некачественной. Даже если после визуального контроля соединение выглядит приемлемо, связь поверхностей оказывается недостаточно прочной (рис. 5), так как сварка прошла только по периметру. Это подтверждается испытаниями на сдвиг/растяжение.



Рис. 5. Пример сварки с применением маленькой мощности

Сила прижатия

Если прижимная сила незначительная, то сварочный инструмент во время операции сварки будет скользить. Превышение прижимной силы приводит к тому, что может снизиться скорость УЗ (иными словами, важно «не пережать»).

Чрезмерная сила сварки

При избыточной силе прижатия сварочный инструмент деформирует проволоку без воздействия УЗ-вибраций, и образуются гладкие «уши» (рис. 6).



Рис. 6. Пример сварки с применением чрезмерной силы

Сварка выглядит как штамп от сварочного инструмента. Несмотря на то, что «уши» получаются большими (как при чрезмерной мощности сварки), вместо шероховатых и обожженных краев, как того бы хотелось, они получаются гладкими. Из-за «пережатия» также существует вероятность непривара в центре или подъема сварного соединения.

Чтобы устранить эти дефекты, необходимо уменьшать силу прижатия, а не увеличивать мощность УЗ.

Недостаточная сила сварки

Недостаточная прижимная сила позволяет инструменту скользить во время воздействия ультразвуком, поэтому правильная форма сварного соединения не получается (рис. 7).

В этом случае наблюдаются следующие дефекты:

- слабое, приподнятое или деформированное соединение;
- износ и повреждение поверхности;
- наращивание алюминия в V-образном пазе сварочного инструмента.



Рис. 7. Пример сварки с приложением недостаточной силы прижатия

При недостаточной прижимной силе любое непредусмотренное движение по оси Z влияет возрастающим давлением на кремневую пластину, является причиной ее повреждения и называется кремниевым разломом. Кроме того, наращивание на сварочном инструменте алюминия также серьезно влияет на качество соединений, он может поцарапать «пятку» и разрушить сварку.

Время сварки

Время сварки — период, необходимый для выхода на рабочий режим и проведения сварочного процесса. Среди основных параметров время — наименее критичный, и соблюдать его с точностью в доли секунды не является необходимым условием для качественной сварки.

Чрезмерное время сварки

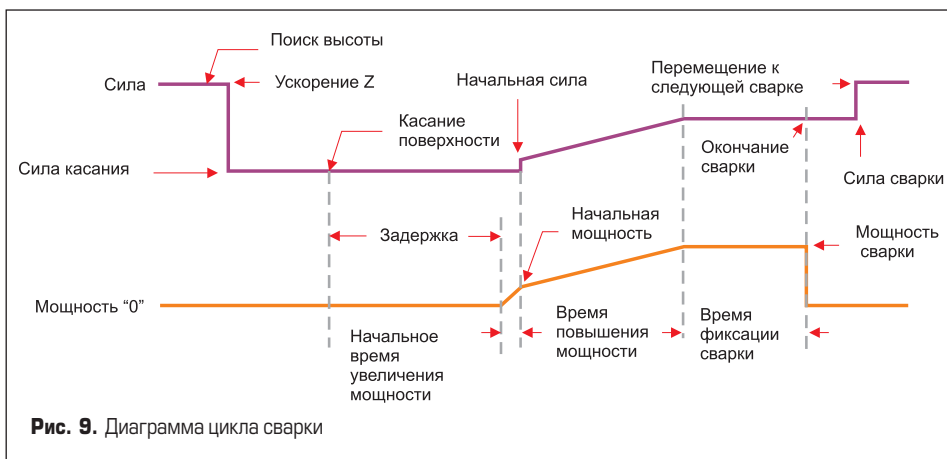
Результатами излишней продолжительности процесса являются сильная экструзия проволоки, черные обожженные края сварного участка и «потекшая пятка» (рис. 8).

Недостаточное время сварки

Для создания качественного соединения необходимо добиться выхода с поверхности



Рис. 8. Пример сварки с избыточной продолжительностью процесса



проволоки и контактной площадки примесей и оксидов. При недостаточном времени УЗ-энергия не успевает достичь необходимой мощности, чтобы размягчить проволоку. Недостаточное время сварки приводит к эффекту приподнятого шва или плохому сварочному контакту.

Цикл сварки

Диаграмма на рис. 9 показывает оптимальные параметры мощности, силы и времени в течение всего цикла сварки.

Изложенный материал призван помочь технологам в подборе параметров для УЗС. Следует также обратить внимание, что сегодня

на установке можно получить отличные сварные соединения, а завтра при тех же параметрах ничего хорошего не выйдет — это значит, что произошли какие-то изменения в поверхности контактной площадки или проволоки (грязь, другой материал контактной поверхности, другая проволока и т. д.). В такой ситуации первым делом необходимо подробно рассмотреть дефекты сварных соединений и изменить параметры сварки. В большинстве случаев это позволяет решить проблему.

На рис. 9 показан цикл сварки на автоматической установке УЗС модели OE 3700 plus фирмы Orthodyne Electronics. Установка разварки позволяет применять и варьировать операционные параметры с высокой точно-

стью, что дает их высокую воспроизводимость. Установка позволяет реализовать преимущества метода УЗС. OE 3700 plus проводит сварку практически любого гибридного прибора с минимальными затратами и высоким качеством. Конструкция сварочной головки и ее четыре степени свободы обеспечивают соединение точек, расположенных на разных уровнях и под разными углами по отношению одна к другой. Система распознавания образов автоматически подстраивает места сварок, обеспечивая точность их расположения. Автоматы разварки Orthodyne Electronics оптимально подходят для разварки тонкой/толстой алюминиевой/золотой проволоки клином. Об этом свидетельствует список фирм, применяющих данные установки: BOSCH, NEC, Motorola, Hyundai, Toyota, Hitachi, Samsung и др.

OE 3700 Plus полностью поддерживает процесс микросварки с плавным нарастанием мощности ультразвукового импульса и усилия сжатия. Что, в первую очередь, необходимо для обеспечения надежных сварных соединений при максимальном выходе годных изделий с высокочувствительными элементами.

Кроме того, данное оборудование имеет несколько встроенных систем контроля качества сварки непосредственно во время проведения операции и позволяет автоматически записывать и хранить параметры для каждого сварного соединения, что особенно важно при производстве изделий с повышенными требованиями по надежности.